

유류누출에 따른 해수욕장 모래오염도 연구

지반환경팀 · 수질화학팀*

김익수 · 최낙경 · 김교봉 · 김영두* · 장미희* · 조기찬 · 김세정 · 윤중섭 · 엄석원

Assessment of the Contamination of Sand due to a Crude Oil Spill at Sandy Beach on the Western Coast

*Geoenvironment Team, Water Chemistry Team**

**Ick-soo Kim, Nak-kyoung Choi, Gyeo-bung Kim,
Young-doo Kim*, Mi-hee Jang*, Gi-chan Jo, Se-jeong Kim,
Joong-seop Yun and Seok-won Eom**

Abstract

An oil spill accident occurred in the West Sea at 7:10am on the 7th of December, 2007, 10 km north west of Malipo, due to the collision of a ship Hebei Spirit and a crane barge wrecking oil tank. Consequently, 12,547 kL of crude oil was spilled off shore from Taean, which polluted 1,052 km of the nearby coast and damaging over 3,000 ha of fishery, sea farm and swimming beach. To gain an understanding of seashore soil pollution, we collected and analyzed sea water and soil samples from 6 spots Guryepo, Malipo, Kokzzi, Muchangpo and Seocheon sand beach, and twice from Byunsan. The results are as follows: 1) 80 days after the accident, the average pollution levels in the soil were: Ni(nickel) 4.02 mg/kg, V(vanadium) 8.2mg/kg and Hg(mercury) 5.0 μ g/kg, with only the sand on Malipo shore showing a TPH(total petroleum hydrocarbon) level of 3,328.1 mg/kg. 2) 120 days after the accident, the average pollution levels in the soil were: Ni 7.31 mg/kg, V 0.35 mg/kg and Hg 1.0 μ g/kg. TPH was detected the in only 2 samples of Malipo, no n-hexane extractable material was detected in the sea water samples. 3) Analyses of Hg at depths of the sand bed of less than 0.15 m, 0.15~0.5 m, 0.5~1.0 m and 1.0~2.0 m and sand at depths of 1.0~2.0 m at Malipo and 1.0~2.0 m at Kokzzi showed high Hg levels compared to other spots. Vanadium was comparably high at Malipo and Kokzzi. TPH components were detected at a sand bed depth of 2.0 m, indicating that the oil polluted area of Malipo contained higher levels of vanadium and nickel compared to Guryepo. 4) The characteristics of

the oil detected from the sand beds showed general patterns of crude oil. 5) Tar and other remnants of crude oil attached to the crevice of sea rocks and sediments over time could be harmful to sea ecosystems; therefore, long term monitoring is required. The increasing possibility of sea accidents has grown according to the increases in marine logistics therefore, accident preventive programs should be actively operated.

Key words : sand contamination, crude oil spill, coastal beach

서 론

오늘날 해양은 자원개발과 경제적인 활용이나 자연과학의 연구대상 또는 경관적인 면에서 매우 중요한 자원이다. 이러한 관점에서 해양의 효용성은 대단히 크며, 넓고 광활하여 개발의 여지가 많고 지구환경으로서의 그 중요성이 더욱 강조되면서 해양환경의 건강한 보전이 중대한 문제로 대두하고 있다(1). 우리나라 해역은 육상으로부터 유입되는 다양한 폐수와 오염물질들로 인하여 연안이 오염되고 있으며, 해안의 매립과 준설, 간척사업 등 각종 연안개발 사업은 주변 해역의 환경을 크게 변화시키고 있다. 해양은 고유의 자정능력과 완충능력으로 인하여 오랜 동안 환경과피에 쉽게 그 영향이 나타나지 않지만, 일단 자정능력의 한계를 넘어 순환계가 파괴되면 원상복구가 거의 불가능하거나 원상회복을 위하여 막대한 비용과 노력을 들여야 한다(2). 해양오염은 유조선 운항에 따른 밸러스트 수와 세척수, 빌지(bilge) 및 연료유에 의한 오염, 유조선 사고로 인한 기름 유출, 하수 및 공장폐수의 유입, 비점오염원으로부터 나오는 우수와 하천수 등을 원인으로 들 수 있다. 이러한 오염원인들 중 유조선 사고는 유조선이 충돌하거나 좌초되어 유류가 유출되는 사고는 전세계적으로 자주 발생한다. 유류오염사고는 유조선이 해안 가까이에서나 좁은 해협을 통과할 때, 항해 밀도가 높은 항구로 들어올 때 연안에서 일어난다(3). 세계적으로 경제활동 규모가 커지고 무역이 활발해짐에 따라 해상물동량이 증가하면서 연안오염의 가능성은 더욱 높아지고 있다. 기름유출에 의한 해양오염의 대표적인 사례로 1995년 7월 23일 전남 여천 소리도 부근 해상에서 유조선 씨프

린스호가 암초에 충돌되어 좌초된 사고와 같은 해 9월 20일 부산 남형제도 해상에서 제1유일호가 암초에 좌초되어 침몰하였고, 11월 17일 전남 여천군 호유부두에서 호남 사파이어호가 접압중 돌핀에 충돌하여 기름이 유출된 사고 등을 들 수 있다. 또 1974년 일본에서 미츠이석유사의 수도정유소 병커C유가 내해로 유출된 사고가 있었으며 1970년 캐나다 대서양해양에서 아로호와 1976년 인도네시아 센시네아호에서 병커C유가 유출된 사고가 있었고 1989년 3월 24일 미국 알래스카에서 엑슨 발데즈호에서 원유가 유출된 사고 등이 있었다(4). 그림 1은 1970년 이래 세계적으로 발생한 유류유출사고를 나타낸 것이다.

우리나라의 연안은 서로 다른 해양환경을 지니고 있다. 동해는 청어, 정어리, 꽂치 등 회유성 어류가 주류를 이루는 반면 남, 서해에 비하여 연안 생물 자원에 대한 의존도가 낮고 양식장도 상대적으로 그 수가 적은 상태이다. 남해는 멸치, 고등어, 갈치 등 회유성 어종과 대마난류의 영향으로 생물종의 다양성이 높으며 다른 해역에 비하여 물이 따뜻하여 해상가두리 어류양식이 많고 멍게, 김, 미역 등 다양한 생물양식이 동해, 서해의 중간 형태이다. 서해는 대부분 갯벌과 바다을 이용한 바지락, 굴, 키조개 등의 연체류와 꽃게, 새우, 대하 등 갑각류가 대부분이며 조석 간만의 차이를 이용한 김 양식이 성행하는 곳이다. 따라서 연안 해역에서 유류오염 사고가 발생하면 서해의 경우 동해, 남해에 비하여 큰 피해를 입을 수밖에 없는 환경을 갖추고 있다. 연안이 대부분 갯벌로 되어 있어 갯벌 속에 스며든 기름으로 인하여 회복기간이 오래 걸리는 점과 이동성이 거의 없는 갑각류 등 저서생물이 주류를 이루고 있는 점, 양식장이

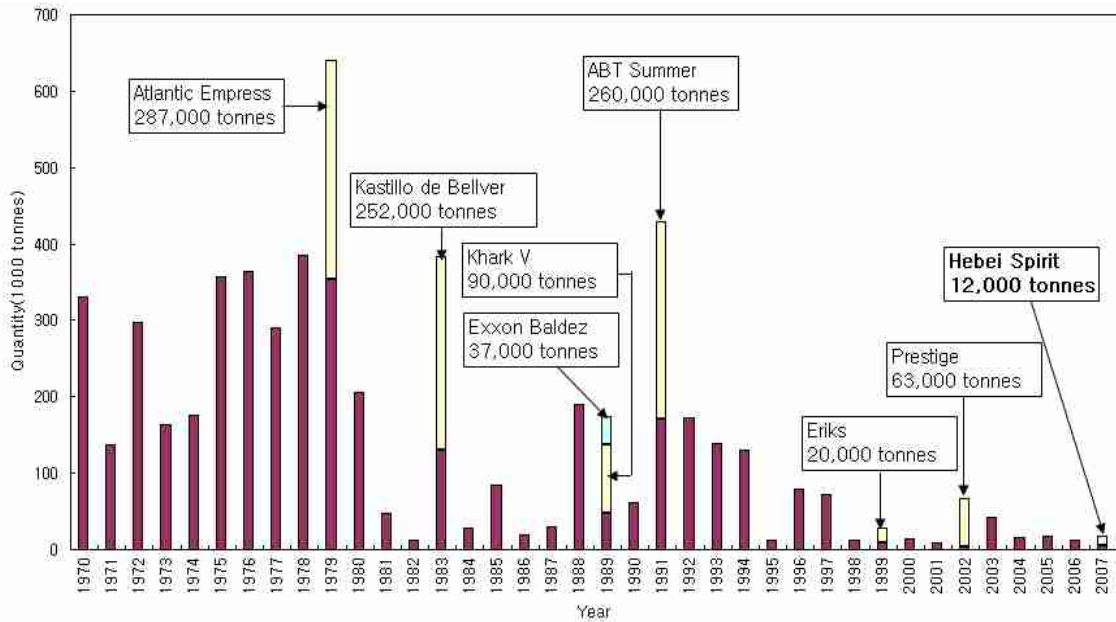


Fig. 1. Worldwide oil spill incident over 700 kL(source:www.itopf.com).

밀집되어 있는 점, 연중 북서풍이 불고 조류가 세어 오염범위의 확산이 매우 빠르고 넓은 범위에 이른다는 특성(2)을 지니고 있다.

본 연구는 2007년 12월 7일 서해안의 태안 앞 바다에서 홍콩선적 유조선 허베이 스피리트호와 해상 크레인어 충돌하여 총 1만 2,547 kL에 이르는 대량의 원유가 유출되어 해양오염 및 인근 해수욕장 백사장을 오염시키는 사고가 발생하였는데, 이 사고로 인한 인근 해수욕장의 해수와 모래에 대한 오염도를 평가하고자 실시하였다.

재료 및 방법

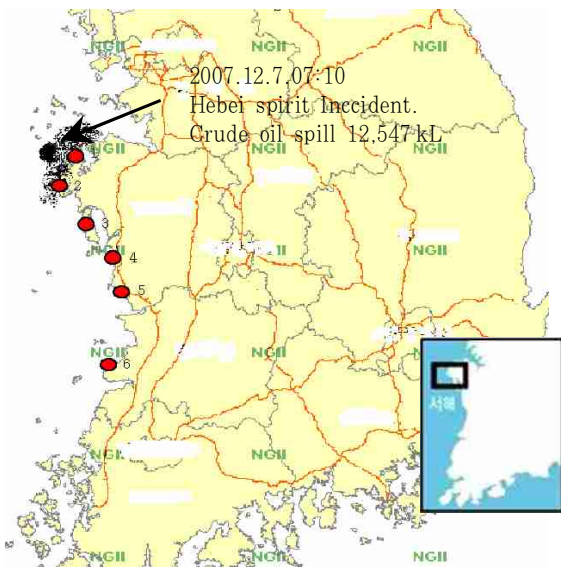
1. 시료채취

시료는 그림 2와 같은 지점에서 2회에 걸쳐 표면모래 및 심층 모래를 채취하였다. 1차 시료는 2월 27일에 구례포, 만리포, 꽃지, 무창포, 변산만리포 해수욕장, 서천백사장등 6곳에서 지표면 모래를 채취하였다. 2차시료는 U.S. EPA(5)에서 채택하여 사용되고 있는 geoprobe를 이용하여 구례포, 만리포, 꽃지 등 3개 해수욕장에서 표면모래

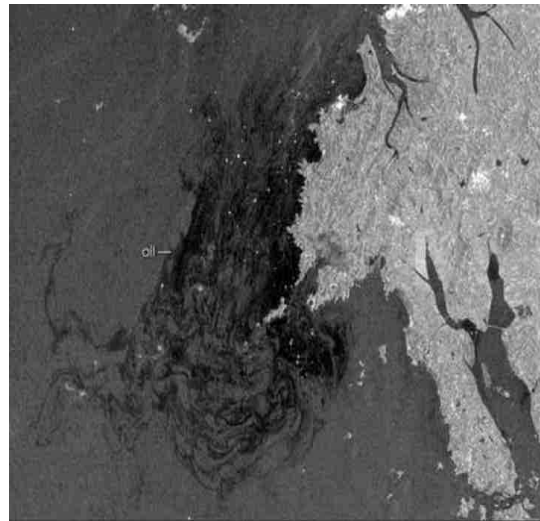
층과 지표면하 2.0 m이내에서 0.5 m 깊이 간격을 두어 층위별로 불교란시료로 채취하였다.

2. 시료분석

1차로 채취한 시료는 중금속중 원유중에 다량으로 포함(6)되어 있는 Ni, V, Hg 성분을 분석하였고 유류성분은 BTEX(Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene), TPH(Total Petroleum Hydrocarbons)를 분석하였고(7), 2차로 채취한 시료는 Ni, V, Hg, BTEX, TPH, n-hexane 성분을 분석하였다. 중금속 Ni, V 분석은 ICP-AES(Spectro CIROS CCD)와 multistandard solution 10 mg/L(Accustandard Co.)를 사용하였고, Hg는 수은분석기(Milestone, DMA 80)를 사용하였으며, BTEX는 Purge & Trap(Tekmar 3100)과 GC-FID(Agilent 6890, Column : DB 624), TPH는 GC-FID(Agilent 6890, HP-5)를 사용하여 분석하였다. GC의 주입구 온도는 250°C, 오븐온도는 45°C에서 2분간 유지한 다음 5°C/min으로 150°C까지 승온하여 150°C에서 7분간 유지하였고, 검출기온도는 320°C로 하였다(8). n-Hexane 추출물질은 수질오염공정시험방법(9)에 준하여 분석하였다.



- : 1. Guryepo 2. Malipo 3. Kokzzi
- 4. Muchangpo 5. Seocheon sand beach
- 6. Byunsan



*Satellite image of oil spill accident in Taean sea (Source:http://www.esa.int/esaCP/SEM1CF361AF_index_0.html).

Fig. 2. Beach sampling site for oil pollution survey in Western coast area.

결과 및 고찰

2007년 12월 7일 서해안의 태안 앞바다에서 유조선 허베이스피리트호와 해상 크레인인 충돌하여

대량의 기름이 유출된 사건으로 인하여 인근 해수욕장이 유류로 오염되었다. 이에 따라 2회에 걸쳐 6개 해수욕장에서 지표면 및 심토 모래를 채취하여 모래오염도를 평가한 결과는 다음과 같다.

Table 1. Major components in Iranian Heavy sampled on 18 Jan 2008 (source : Taean Environment and Health Center)

Component	Concentration	
Hydrocarbons(%)	Saturates	53
	Aromatic	30
	Polar compounds	17
VOCs(ppm)	Benzene	830
	Toluene	2,520
	Ethylbenzene	1,310
	Xylene	5,100
	Total BTEX	7,570
	Others	Sulfur(%)
Nickel(ppm)		23
Vanadium(ppm)		81

1. 시료채취시점에 따른 비교

기름유출 사고일로부터 80일이 경과한 후 1월 27일에 구레포 등 5개 해수욕장 모래를 채취하여 분석한 결과는 표 2와 같이 나타났고 125일이 경과한 후 4월 12일에 표면모래 및 심토모래를 채취하여 분석한 결과는 그림 3과 같이 나타났다. 이 보다 앞서 사고후 태안환경보건센터에서 이란산 원유(Iranian Heavy)를 분석한 자료가 표 1과 같이 나타났다. 1차분석결과 6개 해수욕장의 평균 값은 Ni 4.02 mg/kg, V 8.2 mg/kg, Hg 5.0 μ g/kg으로 나타났고 만리포 해수욕장의 모래에서만

TPH 3,328.1 mg/kg으로 나타났다. 중금속의 농도는 TPH가 3,328.1 mg/kg을 나타낸 유출된 기름으로 오염된 만리포와 비교할 때 뚜렷하게 구분할 수 있는 농도는 나타나지 않았다. 2차분석결과는 Ni 7.31 mg/kg, V 0.35 mg/kg, Hg 1.0 μ g/kg으로 나타났고, TPH는 만리포의 2개소에서 검출되었고, 해수에서의 n-hexane 추출물질은 검출되지 않았다.

만리포 5 지점의 값은 다른 지점에 비하여 높게 나타났고, 사고 직후 분석된 값보다 매우 작게 나타났다.

Table 2. The first survey results of the sand beach contamination in the oil spill accident of Taean(mg/kg)

Sampling site	Hg(μ g/kg)	V	Ni	BTEX	TPH
Guryepo	4.8	7.8	7.02	N.D	N.D
Malipo	7.9	6.3	2.26	N.D	3328.1
Kozzi	0.4	2.5	1.36	N.D	N.D
Muchangpo	8.6	3.5	2.4	N.D	N.D
Seocheon sand beach	8.0	17.7	8.32	N.D	N.D
Byunsan	0.3	11.3	3.36	N.D	N.D
Mean	5.0	8.20	4.02	---	---

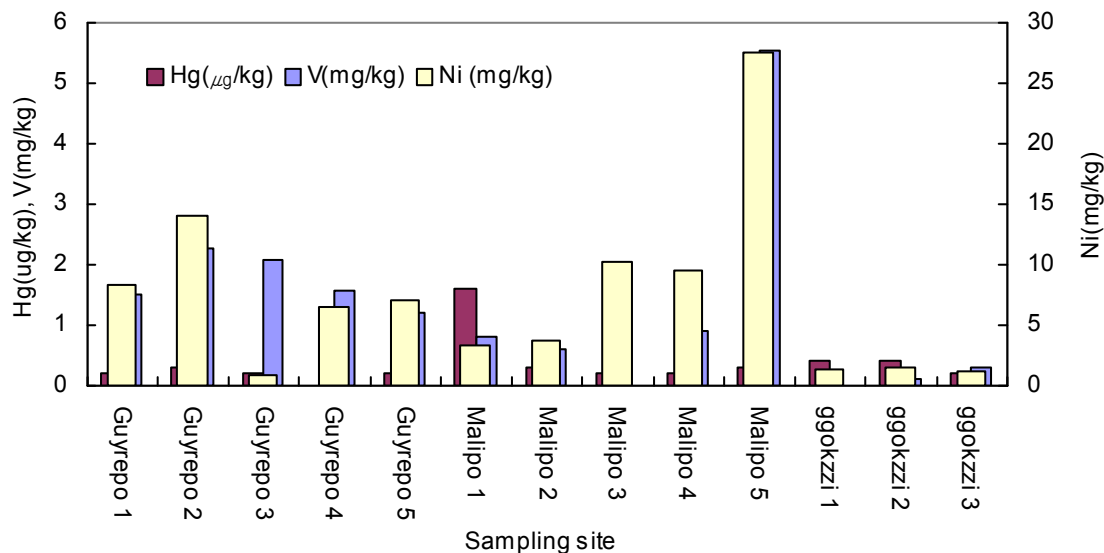


Fig 3. The second survey results of the sand beach contamination in the oil spill accident of Taean.

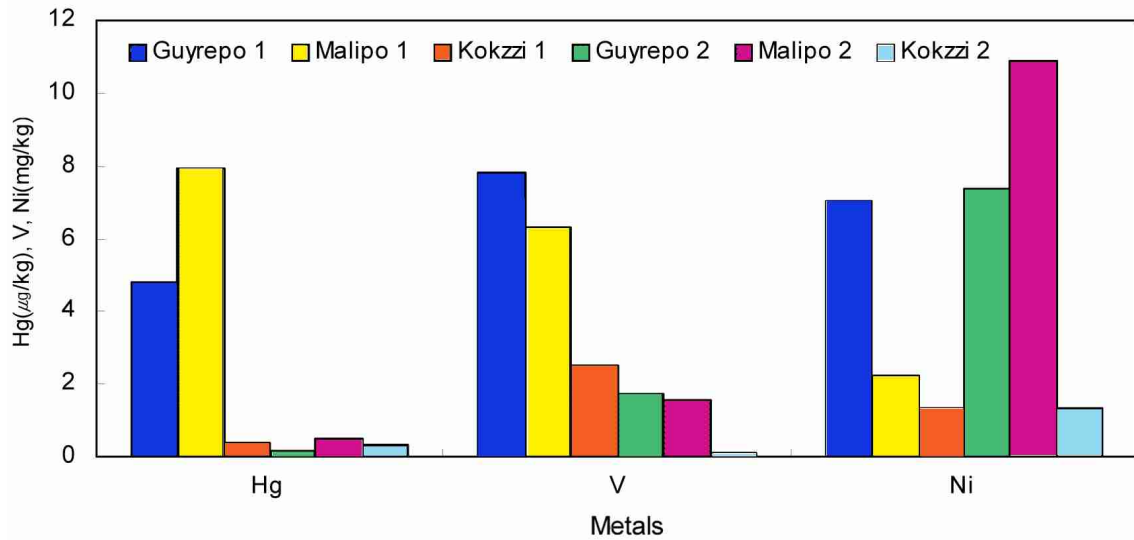


Fig. 4. The comparison of the metal concentration with different sampling time in sand beach.

2. 채취시기별 비교

2회에 걸쳐 채취한 지표면 모래시료를 분석한 결과는 그림 4와 같이 나타났다. 수은은 1차 시료 중 만리포와 구례포에서 높게 나타났으나 2차 시료에서는 낮게 나타났고, 바나듐은 1차 시료 중 구례포에서 가장 높게 나타났고 그 다음으로 만리포에서 높았다. 니켈은 만리포의 2차 시료에서 가장 높게 나타났으며 1차 시료보다 5배정도 높게 나타났다. 이는 유류오염에 기인한 것이 아니라 채취지점별 모래특성에 따른 값의 차이로 사료된다. 유류검사항목인 TPH는 1차 시료와 2차 시료 중 만리포에서만 검출되었고 1차 시료에서 토양오염우려기준 중 나지역 기준 2,000 mg/kg을 초과하여 나타났으나 2차 시료의 5개 지점 중 4개 지점에서 검출최대값이 65 mg/kg으로 낮게 나타났다. 이는 기름제거 작업으로 인하여 농도가 크게 감소하였으나 완전한 제거를 위해서는 좀 더 많은 시간과 비용이 필요한 것으로 사료된다.

3. 모래층 깊이별 비교

2차 시료는 구례포에서 5개소 중 2곳, 만리포에서 5개소 중 5곳, 꽃지 1개소 중 1곳에서 깊이 0.15m이하, 0.15~0.5, 0.5~1.0, 1.0~2.0m 등 4단계로 나누어 교란되지 않게 채취하였고, 이 시

료에 대한 분석 결과는 그림 5와 같다. 이 그림에서 수은은 만리포 M1 지점 깊이 1.0~2.0m과 꽃지 K3지점 1.0~2.0m의 모래가 다른 지점보다 높게 검출되었다. 바나듐은 유류오염이 나타난 만리포 1지점과 꽃지 1지점에서 다소 높게 나타났다. 원유에는 각종 황, 바나듐, 니켈, 철, 안티몬 등의 중금속과 황화수소와 인체에 유해한 성분들이 다량으로 포함되어 있는데(5) TPH 성분이 모래층 2.0m에서도 검출되어 기름으로 오염된 만리포에서 바나듐과 니켈이 구례포에 비하여 높게 나타났다.

4. 유종분석

만리포에서 시료한 모래에서 기름을 추출하여 유종을 분석한 결과 그림 6과 같이 나타났다. 일반적으로 도시주유소에서 구입하거나 토양오염에 나타나는 diesel, kerosene, gasoline과는 다른 패턴을 가진 crude oil의 패턴이 나타났고, 이 패턴은 태안환경보건센터에서 분석한 그림 7의 구례포에서 채취분석한 crude oil의 패턴(5)과 일치하였다.

이상과 같이 고찰한 태안 기름 유출 사고는 온 국민의 기름제거 노력으로 육안으로는 많이 치유되었으나 바다속에 가라앉은 타르나 바위틈이나

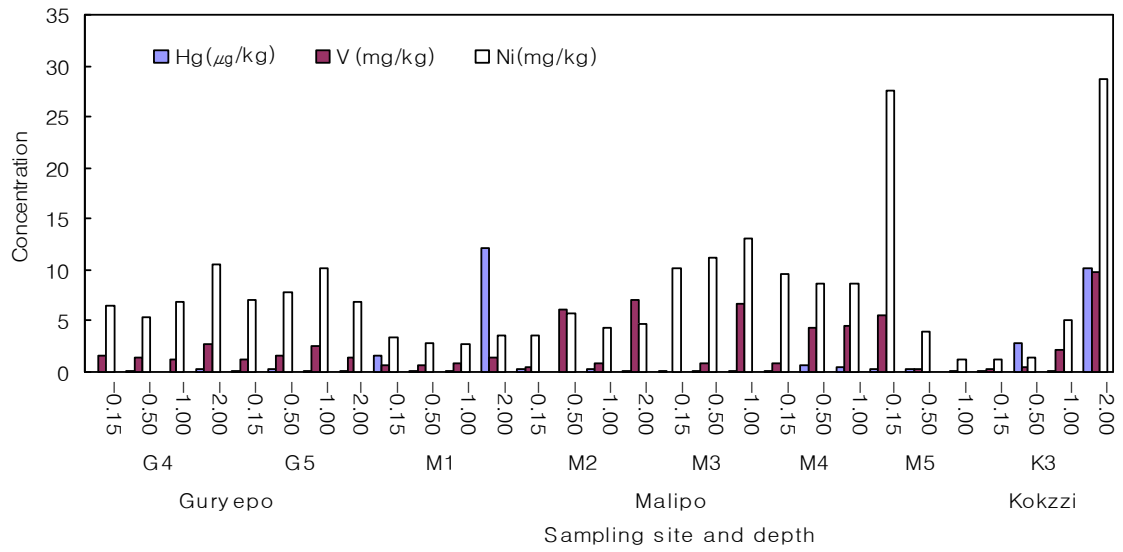


Fig. 5. Metal concentration of the beach sand with depth in Taean coast.

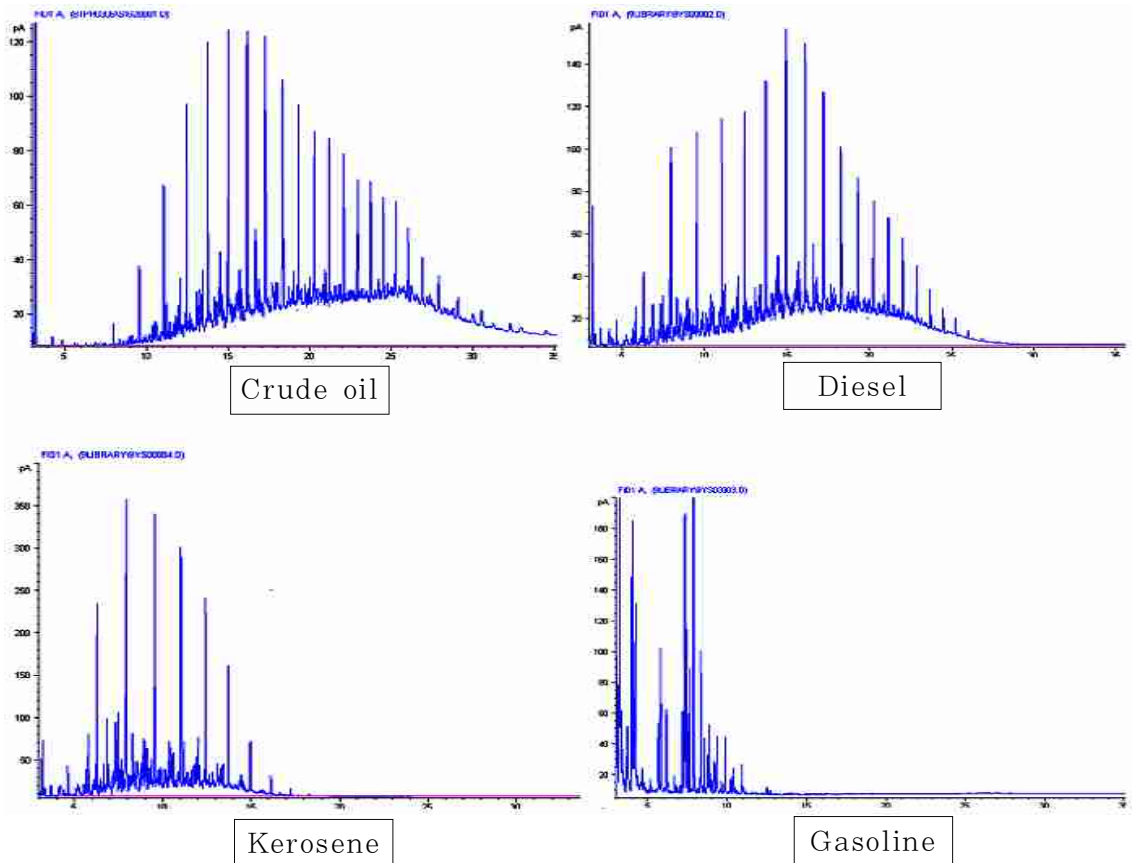
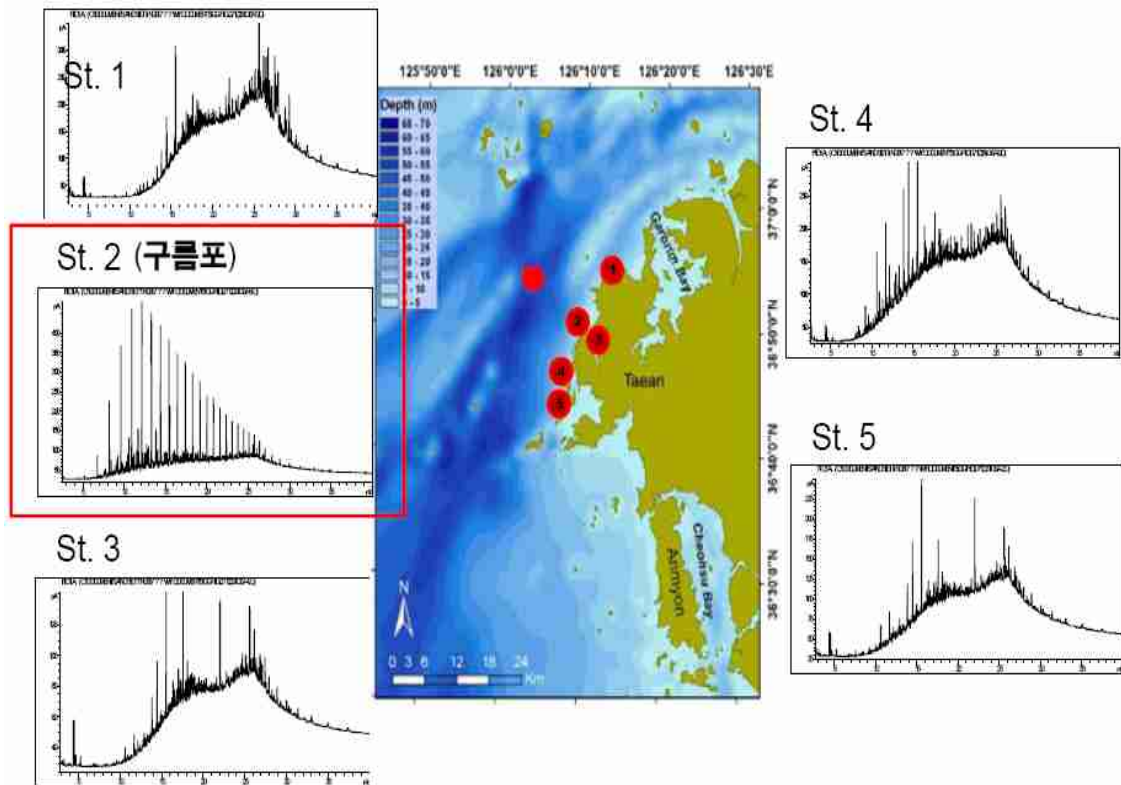


Fig. 6. Peak patterns of the various oil using GC-FID.



Source : Taean Environment and Health center

Fig. 7. Chromatograms analyzed in Taean Environment and Health center.

침전물에 부착되어 있는 기름찌꺼기는 장기적으로 바다 생태계에 나쁜 영향을 미칠 수 있으므로 장기적인 모니터링을 통한 감시활동을 통해 적절한 행정적, 환경적 조치를 취함으로써 해양생태계를 복원하려는 노력에 심혈을 기울여야 할 것이라 여겨진다.

결론

서해기름유출사고는 2007년 12월 7일 아침 7시 10분경에 만리포 북서쪽 10 km 해상에서 허베이 스피리트호가 크레인부선과 충돌하여 기름탱크가 파손되어 12,547 kL의 원유가 태안 앞바다로 유출되어 인근 연안 1,052 km를 오염시키고 여장과 양식장 해수욕장등 3,000 ha에 걸쳐 피해를 입힌 사건이다. 우리연구원에서 해수욕장의 모래오염을

파악하고자 2회에 걸쳐 구례포, 만리포, 꽃지, 무창포, 서천백사장, 변산 등 해수욕장 6곳의 해수 및 모래를 채취하여 분석하여 다음과 같은 결론을 갖고자 한다.

1. 사고로부터 80일 경과한 후 해수욕장 모래의 오염도는 평균값이 Ni 4.02 mg/kg, V 8.2 mg/kg, Hg 5.0 μ g/kg으로 나타났고 만리포 해수욕장의 모래에서만 TPH 3,328.1 mg/kg으로 나타났다.
2. 사고로부터 125일 경과한 후 해수욕장 모래의 오염도는 평균값이 Ni 7.31 mg/kg, V 0.35 mg/kg, Hg 1.0 μ g/kg으로 나타났고, TPH는 만리포의 2개소에서 검출되었고, 해수에서의 n-hexane 추출물질은 검출되지 않았다.
3. 모래층 깊이를 0.15 m이하, 0.15~0.5, 0.5~1.0, 1.0~2.0 m로 나누어 분석한 결과, 수는

은 만리포에서 깊이 1.0~2.0 m와 꽃지에서 1.0~2.0 m의 모래가 다른 지점보다 높게 검출되었고, 바나듐은 만리포와 꽃지에서 다소 높게 나타났으며 TPH 성분이 모래층 2.0 m 에서도 검출되어 기름으로 오염된 만리포에서 바나듐과 니켈이 구례포에 비하여 높게 나타났다.

4. 모래층에서 채취한 기름의 유종은 전형적인 원유 패턴을 보였다.

위와 같은 결과는 다른 해수욕장에 비하여 유류 사고의 피해를 크게 입은 만리포에서 직접적인 유류오염을 확인할 수 있었으나 사고 후 전 국민의 대대적인 오염복구 노력에 의하여 현저히 오염이 줄어들었다. 그러나 이미 타르 등의 성분이 생태계에 유입되어 영향을 미칠 것으로 예상되는 바, 지속적인 오염제거 노력은 물론 사고의 환경생태적 영향을 장기적으로 모니터링해야 될 것이다.

참고문헌

1. Minai-Tehrani D, Malek-Hosseini S, Savaghebi-Firoozabadi G, Faeze K and Mahdie A: Effect of Light Crude Oil-Contaminated Soil on Growth and Germination of *Festuca arundinacea*. *Journal of Applied Sciences*, 7(18): 2623~2628, 2007.
 2. 윤영석 : 한국 연안역에서의 해양유류오염사고에 대한 효과적 방제방법 선정기준에 관한 연구. 한국해양대학교 대학원 석사학위논문, 2005.
 3. Hashem AR : Influence of Crude Oil Contamination on the Chemical and Microbiological Aspects of Saudi Arabian Soils. *J. King Saud Univ.*, 8(1):11~18. 1996.
 4. 신철오, 장정인, 최지연 : 허베이스피리트호 유류오염사고의 환경피해액 추정 연구. 한국해양수산개발원, 2008.
 5. U.S.EPA : Region 9. Field sampling.
 6. 정우철, 심원준, 이종철 : 유류유출로 인한 환경노출평가와 생태영향. 태안환경보건센터, 2008.
 7. 강창환 : 유류오염지역의 BTEX에 의한 위해성평가 연구. 광운대학교 석사학위논문, 2005.
 8. 환경부. 토양환경보전법. 2008.
 9. 환경부. 토양오염시험기준. 2007.
1. Minai-Tehrani D, Malek-Hosseini S, Savaghebi-Firoozabadi G, Faeze K and Mahdie A: Effect of Light Crude Oil-